

## **Statistical distributions of microseismicity in the Cooper Basin geothermal field**

*Andreas Barth<sup>1</sup>, Pia Carstens<sup>2</sup>, Stefan Baisch<sup>2</sup>*

*1) Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

*2) Q-con GmbH, Bad Bergzabern*

*42. Sitzung der AG Seismologie, Bad Salzschlirf, 27.-29.09.2016*

### **Abstract**

The Cooper Basin geothermal field (Australia) was stimulated in August 2005 with 15,300 events detected. 8,000 events  $M_L \geq -0.9$  were localised and provide a valuable data set to study statistical properties that are often presumed in seismic hazard analysis.

For this purpose tectonic seismicity is typically declustered to a Poisson distributed dataset, by removing after-/foreshocks. In a second step a Gutenberg-Richter distribution above a magnitude of completeness is assumed to represent the magnitude frequencies. We use parameter studies and goodness-of-fit tests to analyse whether those assumptions are valid for the induced seismicity in the Cooper Basin.

We show that the dataset follows an inherent Poisson-distribution for high refusal rates of timely dependent seismic events. Single subsets also seem to show Gutenberg-Richter distributions that may be a result of high refusal rates. We use synthetic datasets to analyse the robustness of our results and give implications for the future handling of induced seismicity.

# **Nanoseismic Monitoring am Forschungsfelslabor für Endlager in Mont Terri (Schweiz)**

Patrick Blascheck<sup>1</sup>, Marco Walter<sup>1,2</sup> & Manfred Joswig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

<sup>2</sup> Seismic Solutions, Tübingen

Um seismische Überwachungsmethoden für radioaktive Endlager zu testen und zu verifizieren betreibt das Institut für Geophysik der Universität Stuttgart ein Messnetzwerk am Schweizer Forschungsfelslabor Mont Terri. Seit Anfang April 2014 liefern zwei unterirdische Kleinarrays (SNS) kontinuierlich Daten, welche seit Mitte Juli bzw. September 2014 von zwei weiteren oberflächlichen SNS ergänzt werden. In einem Zeitraum von 18 Monaten konnten über 1600 Ereignisse weltweit aus Bulletins (SED, LED, ..) identifiziert und etwa 200 zusätzliche Ereignisse lokalisiert werden, die in keinem Bulletin enthalten waren.

Im unmittelbaren Untersuchungsgebiet von 10 km Entfernung konnten über die 11 in den lokalen Ereignisbulletins gelisteten Erdbeben hinaus weitere 74 Kleinstbeben bis  $M_L -2.0$  lokalisiert werden. Die Vollständigkeitsschwelle konnte dabei um 1,5 Magnituden gesenkt werden. Damit konnten aktive Verwerfungen in Bereich und unmittelbarer Umgebung des Forschungsfelslabors mittels Clusteranalyse identifiziert werden.

## **Seismological measurement of the P- to S-wave velocity ratio in the subduction zone of the Central Andes**

Wasja Bloch, Jörn Kummerow, Peter Wigger, Pablo Salazar, Serge Shapiro

### **Summary**

The seismic P- to S-wave velocity ratio ( $V_p/V_s$ ) is a petrophysical property that allows for the discrimination of major rock types and is especially suited to detect fluids in the subsurface. Lin and Shearer (2009) proposed a method to estimate it in-situ from the arrival times of the P- and S-waves emitted from a set of nearby events.

Here, we present a further development of this method to estimate the local 3D-distribution of  $V_p/V_s$  from a microseismic event cloud. We apply the method to a local earthquake catalog from the subduction zone of the Central Andes.

# **Aktuelle Entwicklungen im BGR-Fachbereich "Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp"**

Christian Bönemann

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Der BGR-Fachbereichs B4.3 - Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp hat drei Aufgabenschwerpunkte:

## **Betrieb des Seismologischen Zentralobservatoriums (SZO)**

Im Stationsbetrieb liegt die aktuell größte Herausforderung bei Konflikten, die durch die Planung von Windkraftanlagen in Abständen von weniger als 5 km zu einigen Stationen des Gräfenberg-Arrays entstanden sind. Die BGR hat als Träger öffentlicher Belange in den entsprechenden Genehmigungsverfahren Einspruch eingelegt. Während der fachliche Nachweis der Störeinwirkung durch WKA inzwischen gut fundiert ist, ist der Ausgang von vier laufenden Verfahren (Widersprüche von Investoren) vor Verwaltungsgerichten offen.

Für die Erweiterung des GRSN (Deutsches Regionalnetz) wurden Vorerkundungen an zahlreichen Standorten vorgenommen. Die Kapazitäten des Fachbereichs für die Einrichtung neuer Stationen sind aktuell allerdings begrenzt, da bestehende Stationen an immer striktere Auflagen zu Arbeitsschutz und Betriebssicherheit angepasst werden müssen.

Im Datenzentrum ist die seit längerem erfolgende Konsolidierung der Hardware inzwischen weit fortgeschritten. Die Integration in EIDA (European Integrated Data Archive) mit der Rolle des SZO als einer der National Nodes (Einbindung von Landeserdbebendiensten) wird weiter betrieben. Schließlich wird das Datenzentrum in Kooperation mit dem zuständigen BGR-Fachbereich in die GDI-DE (Geodateninfrastruktur Deutschland) eingebunden, was gemäß INSPIRE (Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft) erfolgt.

## **Verifikation des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBT)**

Die beiden nordkoreanischen Kernwaffentests im Januar und September 2016 wurden schnell und umfassend bewertet. Beim Januar-Test konnte erstmalig auf der Grundlage von Daten des neuen ESA-Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-1A, die kurz vor bzw. kurz nach den Test aufgenommen wurden, mittels Radarinterferometrie Subsidenz nachgewiesen werden, die durch die Kernexplosion verursacht wurde. Für die seismologische Auswertung steht damit eine unabhängige Information zum Epizentrum zur Verfügung.

Das umfangreichste Projekt ist für 2017 die Modernisierung des GERESS-Arrays im Bayerischen Wald, das auch die Funktion einer seismischen Primärstation (PS19) der CTBT-Organisation in Wien einnimmt. Die Arbeiten binden schon jetzt erhebliche Ressourcen des Fachbereichs. In den Folgejahren soll dann die von der BGR-betriebene Infraschallstation IS27 (Antarktis) modernisiert werden.

Die CTBT-Aufgaben werden durch wissenschaftliche Projekte flankiert, die sich u.a. mit der Atmosphärenforschung durch Infraschall (EU-Projekte ARISE 1 und 2), mit der Detektionsfähigkeit des CTBT-Netzes und der gemeinsamen Auswertung von seismologischen und Infraschalldaten (Seismoakustik) befassen.

## **Induzierte Seismizität**

In diesem Themenfeld ist die Beratung des Fachbereichs besonders gefragt. Einer der Schwerpunkte ist hier die Seismizität in den Erdgasfeldern Niedersachsens, die in enger Kooperation mit dem Niedersächsischen Erdbebendienst (NED) bewertet wird. Nach signifikanten Beben werden gemeinsame Berichte herausgegeben. Hinzu kommt ein Forschungsprojekt zur Seismizität in Norddeutschland, das gemeinsam mit der Leibniz-Universität Hannover bearbeitet wird.

Neben der Gesamtkoordinierung der Forschungsprojekte MAGS 1 und 2 (Mikroseismische Aktivität Geothermischer Systeme) liegt der Arbeitsschwerpunkt bei Monitoring- und Auswerteverfahren im Bereich der Geothermie-Anlagen von Landau und Insheim (Südpfalz).

Ein weiteres Feld sind Untersuchungen zu Seismizität, die durch hydraulische Stimulation induziert werden kann. Dies erfolgte im Hinblick auf die Gewinnung von Schiefergas (NIKO-Studie) und tiefer Geothermie (Studie im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung mit dem Umweltbundesamt).

# **Seismicity distribution in conjunction with spatiotemporal variations of coseismic slip and postseismic creep along the combined 1999 Izmit-Düzce rupture**

Marco Bohnhoff <sup>1,2</sup>, Michèle Ickrath <sup>1</sup>, Georg Dresen <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Section 4.2: Geomechanics and Rheology, Telegrafenberg, Potsdam, Germany

<sup>2</sup> Free University Berlin, Department of Earth Sciences, Malteser Strasse 74-100, 12249 Berlin, Germany

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in NW Turkey as one of the most active and best studied strike-slip faults provides a unique opportunity to study earthquake related relaxation processes through analyzing co- and postseismic deformation. We study the spatial and temporal distributions of seismicity related to the two consecutive 1999 M<sub>N</sub> 7 Izmit and Düzce earthquakes. A high-resolution aftershock catalogue including ~10,000 hypocenters extending along the combined rupture zone and extending from prior to the Izmit event to after the Düzce event is studied. Spatial and temporal distributions of events allow to identify distinct seismically active and inactive fault patches. Their location is related to the co- and postseismic deformation within and below the seismogenic layer, respectively. Four seismically inactive patches extending 30–50 km along the rupture zone and down to 10 km depth are identified with a systematic spatial shift between them introduced by the Düzce mainshock. The cumulative distribution of sub-areas hosting coseismic slip, aftershock clusters and postseismic creep shows that the entire upper (seismogenic) and lower (ductile) portions of the crust along the combined Izmit and Düzce rupture zone are activated between rupture initiation and a two-year postseismic period. This observation was only achieved due to the subsequent occurrence of two adjacent M<sub>N</sub>>7 strike-slip earthquakes in combination with a distinct local seismic and geodetic monitoring. Our findings suggest that a coseismically introduced lateral and vertical slip deficit is systematically compensated postseismically in both the brittle and ductile portions of the crust.

## **Earthquake location: 3 versus 6(4) components of ground motion**

Stefanie Donner, Felix Bernauer, Heiner Igel

In translational based seismology the localisation of an earthquake with one single station (3C) is theoretical possible but comes with large uncertainties. Thus, the localisation is traditionally done on data of at least three stations. However, there are settings where only very few or even just one station can be installed, such as in grim environments (deserts, ocean islands, Earth's poles) or on other planets.

Rotational seismology may provide a solution to this difficulty. Assuming the availability of 6C data (3C of translation + 3C of rotation) – which will be the case very soon – we should be able to locate an earthquake much better from a single 6C station than using 3C data alone.

Here, we use data of the 1C (vertical) laser gyroscope in Wettzell, Germany, recording collocated with a 3C translational seismometer. We compare the 3C versus 4C location of exemplary regional and teleseismic earthquakes. Although we simplified the velocity model to a halfspace, we could reproduce the catalogue locations very well using four components. Next to the location, we get an additional information on the phase velocity from the collocated point measurement and thus direct information on the subsurface seismic velocity structure.

**Analysis on the influence of wind turbines on seismic records using temporal stations in Saxony and Lower Saxony**

Hortencia Flores Estrella<sup>1</sup>, Falk Hänel<sup>2</sup>, Kilian Alberts<sup>1</sup>, Dirk Schönwald<sup>3</sup>, Elisabeth Sondermayer<sup>1</sup> and Michael Korn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute for Geophysics and Geology, Leipzig University, Talstr. 35, 04103 Leipzig, Germany

<sup>2</sup> Institute for Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Str. 12, 09599 Freiberg, Germany

<sup>3</sup> Institute for Geosciences, Friedrich-Schiller-University Jena, Burgweg 11, 07749 Jena, Germany

We recorded continuous seismic signals close and around three wind parks in Saxony and Lower Saxony, Germany. Using temporary small seismic networks and stations along profiles with different lengths, we investigate the effects of wind turbines on seismic signals in the frequency interval between 1 and 10 Hz. We analyzed the wind turbine effects in terms of: the spectral amplitude variation with the wind velocity (i.e. wind turbines working periods), and with the distance to the wind parks, as well as with the time (i.e. diurnal variation).

In Saxony we worked near the wind park Fraureuth-Beiersdorf, approximately 11 km south from Zwickau, in the municipality of Fraureuth. Here we measured during 24 days during October and November 2015, with 5 temporal stations with distances between 0.5 and 3.8 km. We found a direct relation between the spectral amplitude for certain frequencies (2.5, 3.2, 5.1 and 6.6 Hz) and the wind velocity (i.e. wind turbines working periods). We also present the analysis for subsequent measurement campaigns with the stations installed along profiles: the first one with distances between 10 and 550 m from one of the wind turbines and the second with distances between 100 m and 4 km, always in the frequency range between 1 and 10 Hz.

Also in Saxony we investigated the effect of wind turbines near the wind park Zodel, in the municipality of Neißeaue. We installed three stations at 1, 2 and 3 km distances from wind park, which recorded continuously between the end of October 2015 and January 2016. We identified two main frequencies: 2.2 and 5.7 Hz which amplitudes vary significantly with the distance to the wind park, as well as with the wind velocity (i.e. the wind turbines working periods).

Finally, we measured near 2 wind turbines near Heinde (Lower Saxony), using 4 stations along a profile with distances between 5 m and 4 km from one of the wind turbines. We also present the analysis of the data from a one week temporal station 1 km away from the wind turbines.

# Erschütterungskarten für induzierte Erdbeben am Beispiel Südpfalz, Oberrheingraben

Tom Eulenfeld<sup>1</sup>, Ulrich Wegler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fachbereich 4.3, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

<sup>2</sup> Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Nach der DIN-Norm 4150 kann an Hand gemessener maximaler Bodenschwinggeschwindigkeiten die Spürbarkeit und die Möglichkeit von Gebäudeschäden bewertet werden. Im Rahmen des MAGS2-Projektes (Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme) wurden Erschütterungskarten für induzierte Erdbeben in der Südpfalz (Oberrheingraben) berechnet um auch zwischen seismischen Messstation Bodenschwinggeschwindigkeiten angeben zu können.

Als Vorarbeit soll die Bestimmung der intrinsischen Dämpfung und Streudämpfung für den oberen Rheingraben und ausgewählte andere Gebiete in Deutschland vorgestellt werden. Dabei wird die Dämpfung an Standorten, die von Sedimenten dominiert werden, mit Standorten im kristallinen Grundgebirge verglichen.

Die Berechnung der Erschütterungskarten erfolgt in drei Schritten. Alle verfügbaren Messwerte der maximalen Bodenbewegung (PGV) wurden benutzt um ein Bodenbewegungsmodell für die Südpfalz abzuleiten. Das Bodenbewegungsmodell wird durch Erdbebenkorrekturen, Verstärkungsfaktoren der Stationen (site amplification) und einen Term, der die Entfernungsabhängigkeit beschreibt, bestimmt. Die erhaltenen Stationsverstärkungen wurden interpoliert um eine Karte mit Verstärkungsfaktoren zu generieren. Mit diesen Informationen können Erschütterungskarten von auftretenden Erdbeben generiert werden.

Weiterhin wurde die Unsicherheit des Bodenbewegungsmodells untersucht, welche nicht nur für den Fehler der Erschütterungskarten, sondern auch für die probabilistische Gefährdungsanalyse von Bedeutung ist. FD-Simulationen deuten darauf hin, dass die Streuung der PGV-Messungen um das Bodenbewegungsmodell durch kleine, zufällig beschreibbare Geschwindigkeitsfluktuationen in der Erdkruste erklärt werden kann.

# Bestimmung von 1D-Vs-Geschwindigkeitsprofilen mit passiven Array und kleinskaligen aktiven Messungen: Fallstudie im Bereich der Gasfelder in Norddeutschland

Fehr M.<sup>1</sup>, Kremers S.<sup>2</sup>, Fritschen R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ruhr-Universität Bochum

<sup>2</sup> DMT GmbH & Co. Kg

## Abstract

In den vergangenen Jahren traten gehäuft induzierte seismische Ereignisse unmittelbar im Bereich der Gasfelder in Norddeutschland auf, so dass eine Beurteilung von Einflüssen durch seismische Wellen auf Gebäude und Menschen erforderlich ist. Eine große Herausforderung für die Gefährdungsbeurteilung ist die Charakterisierung von Standorteffekten verursacht durch Variationen des lokalen Untergrundes ( $V_s$ , Schichtmächtigkeit). Um diese Variationen beschreiben zu können werden 1D Schwerwellengeschwindigkeitsprofile ermittelt. Ein kombinierter Ansatz von 2D Array Ambient Noise und kleinskaligen aktiven 1D Messungen wurde an drei Teststandorten Langwedel, Walle und Bomlitz durchgeführt. Für die Datenbearbeitung und Bestimmung von Dispersionskurven wurden die *high-resolution frequency-wavenumber* Methode (HRFK) und die *spatial autocorrelation* Methode (SPAC) auf die passiven Daten angewendet sowie eine *multichannel analysis of surface waves* (MASW) für die aktiven Daten durchgeführt. Durch die Verwendung verschiedener Arraygrößen und ergänzender aktiver Messungen, konnten Dispersionskurven über ein weites Frequenzband erzielt werden (1-17 Hz in Bomlitz, 1-26 Hz in Langwedel und Walle). Eine 1D-Inversion, basierend auf dem Neighbourhood Algorithmus, führte zu mittleren S-Wellengeschwindigkeitsprofilen bis zu 100 - 250 m Tiefe. Sowohl sehr dünne oberflächennahe Schichten von wenigen Metern als auch mächtigere Schichten von Zehnermetern in größeren Tiefen konnten identifiziert werden. Die Geschwindigkeiten der oberen Schichten der drei Teststandorte liegen zwischen ~190 m/s und ~ 450 m/s. An den Standorten Langwedel und Walle steigen im tieferen Bereich die Geschwindigkeiten auf ein Maximum von 800 m/s an hingegen in Bomlitz ein signifikanter Geschwindigkeitssprung auf 1400 m/s zu beobachten ist. Ein Vergleich mit vorhandenen Bohrlochdaten zeigt eine gute Korrelation mit den Schichtungen. Die Ergebnisse der Testmessungen demonstrieren, dass der kombinierte Ansatz ein aussichtsreiches Tool hinsichtlich der Charakterisierung des oberflächennahen Untergrundes im Untersuchungsgebiet darstellt. Schließlich können diese Ergebnisse zukünftig zur Verbesserung der Gefährdungsbeurteilung im Bereich der Gasfelder in Norddeutschland beitragen.

# Statistische Auswertung der Schwingstärke spürbarer seismischer Ereignisse im Bereich des Bergwerks Prosper-Haniel

Jens Skapski      Kasper D. Fischer  
Sebastian Wehling-Benatelli

Ruhr-Universität Bochum, Seismologisches Observatorium

Im Ruhrgebiet wird seit dem 19. Jahrhundert Steinkohle im Tiefbau abgebaut. Durch das angewandte Abbauverfahren (Strebbau in Kombination mit Bruchbau) kommt es zu Spannungsumlagerungen im Umgebungsgestein. Hierdurch werden regelmäßig Erdbeben induziert. Das Seismologische Observatorium der Ruhr-Universität Bochum überwacht diese induzierte Seismizität seit 1982. Seit dem wurden über 28.000 Erdbeben registriert.

Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und der geringen Herdtiefen werden auch schwache Ereignisse von vielen Menschen gespürt. Rückmeldungen aus der Bevölkerung zeigen, dass gleich starke Ereignisse ganz unterschiedlich wahrgenommen werden können. Dieser Zusammenhang wurde am Beispiel des Bergwerks Prosper-Haniel untersucht. Das stärkste Ereignis im Bereich des Bergwerks Prosper-Haniel hatte eine Magnitude von 3,3 (28. Mai 2016). In Anlehnung an die DIN 4150-2 wurden aus den seismischen Aufzeichnungen maximale, bewertete Schwingstärken berechnet und statistisch ausgewertet. Hierbei zeigte sich, dass es keinen einfachen Zusammenhang zwischen Schwingstärke, Magnitude und Entfernung gibt.

## **Die zweite Jugend des STS-1H SN16**

T. Forbriger<sup>1</sup>, R. Widmer-Schmidrig<sup>2</sup> P. Duffner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Black Forest Observatory (BFO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

<sup>2</sup> Black Forest Observatory (BFO), Universität Stuttgart

Um während der Wartung der Ostkomponente des Stationsseismometers weiterhin Daten gewinnen zu können, haben wir eine weitere STS-1 Horizontalkomponente in der Seismometerkammer des BFO installiert. Anlass für die Wartung sind scheinbar alterungsbedingte Störungen in den Signalen der Horizontalkomponenten, deren Ursache noch nicht geklärt werden konnte. Als Ersatz stehen uns Sensoren des alten GRF-Arrays zur Verfügung. Neu in Betrieb gegangen ist kürzlich die Horizontalkomponente mit der Seriennummer 16. Es handelt sich um eines der ersten vier STS-1H Seismometer das im Jahr 1977 aus der Serienproduktion für das Array geliefert wurde. Die Instrumente wurden damals mit einem Feedback betrieben, der die Seismometerantwort auf eine Eigenperiode von 20 s einstellt. Wir verwenden eine für das STS-1H SN16 modifizierte Feedback-Elektronik aus dem Netzwerk von IRIS/IDA. Damit wird eine Eigenperiode von 360 s eingestellt. Das Seismometer konkurriert im Frequenzband der Eigenschwingungen der Erde erfolgreich mit den Ostkomponenten der Stationsseismometer (STS-1 und STS-2). Die mechanischen Sensoren der ersten Baureihe hatten bereits die Qualität für welche die STS-1 Seismometer noch immer berühmt sind. Und das STS-1H SN16 zeigt diese Qualität noch nach 39 Jahren und einem langen Seismometerleben in der GRF-Station A1.

## **AlpArray Austria & Slovakia: Site description and noise characterization**

Florian Fuchs (1), Petr Kolinsky (1), Gidera Gröschl (1), Götz Bokelmann (1), and AlpArray Working Group (2)

(1) University of Vienna, Department of Meteorology & Geophysics, Vienna, Austria ([florian.fuchs@univie.ac.at](mailto:florian.fuchs@univie.ac.at))

(2) <http://www.alparray.ethz.ch>

Within the framework of the European joint research initiative AlpArray we deployed 30 seismic broadband stations in Eastern Austria and Western Slovakia. Stations were installed between Spring and Winter 2015, with an expected deployment duration of two to three years. Our installations comprising 60s Reftek sensors and Reftek digitizers as well as 3G telemetry are typically located inside shelters like abandoned or rarely used huts and small houses. In this poster, we describe the station setting and surroundings for each of the 30 stations in detail and discuss noise levels and site effects. The description documents technical information for any future studies involving data from temporary AlpArray stations.

## Seismic detection and characterization of gravitational mass movements

Florian Fuchs (1), Wolfgang Lenhardt (2), and Götz Bokelmann (1)

(1) University of Vienna, Department of Meteorology & Geophysics, Vienna, Austria ([florian.fuchs@univie.ac.at](mailto:florian.fuchs@univie.ac.at))

(2) Central Institute for Meteorology and Geodynamics, ZAMG, Vienna, Austria

Rapid gravitational mass movements, such as landslides, rockfalls, or avalanches are repeatedly recognized during routine seismic monitoring at national earthquake observatories. Yet, utilizing the tools of seismology for fast detection and characterization of mass movements is uncommon. Here we present a set of past landslide and rockfall events in Austria and neighboring countries, which were well-recorded by several permanent seismic stations. We aim at identifying seismically observable parameters of the mass movements, where additional geological and geographical data is available. Based on this set of well-recorded slide events we propose a processing routine for event detection and location as well as discrimination from earthquakes, which can lay ground for a routine detection of rapid mass movements through remote seismic monitoring.

## **Seismological Investigations of the National Data Centre Preparedness Exercise 2015 (NPE2015)**

Nicolai Gestermann, Gernot Hartmann, and Ole Ross

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover

The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) prohibits all kinds of nuclear explosions. For the detection of treaty violations the International Monitoring System (IMS) operates stations observing seismic, hydroacoustic, and infrasound signals as well as radioisotopes in the atmosphere. While the IMS data is collected, processed and technically analyzed in the International Data Center (IDC) of the CTBT-Organization, National Data Centers (NDC) provide interpretation and advice to their government concerning suspicious detections occurring in IMS data.

The National Data Centre Preparedness Exercises (NPE) are regularly performed dealing with fictitious treaty violations to practice the combined analysis of CTBT verification technologies and national technical means. These exercises should help to evaluate the effectiveness of analysis procedures applied at NDCs and the quality, completeness and usefulness of IDC products.

The NPE2015 is a combined radionuclide-waveform scenario. Fictitious particulate radionuclide and radioxenon measurements at stations of the IMS (International Monitoring System) of the CTBTO were reported to the international community. The type of isotopes and concentrations could arise from an underground nuclear explosion (UNE). The task of the exercise is to identify the scenario behind the provided data. The source region and time domain of a possible treaty violation activity was determined from ATM in backtracking mode with input data from the fictitious data. A time slot in October and a region around the mining area of Lubin could be identified as the possible source area of the fictitious measurements.

The seismicity of the determined source region was investigated in detail to identify events which cannot be classified as natural or induced within the relevant time interval. The comparison of spectral characteristics and a cluster analysis was applied to search for a non-characteristic event within a number of known induced events in the area. The results reveal that none of the candidate events had an explosion like characteristic. The possibility of a treaty violation would be very low.

If the nature of a suspicious event cannot be clarified with data of the IMS or national technical means, an on-site inspection (OSI) can be requested by the member states. In this exercise, it was decided that an on-site inspection (OSI) is not necessary to exclude the possibility of a fictitious clandestine underground nuclear explosion.

## **Complex Anisotropy Beneath Scandinavia: New Shear Wave Splitting Results from Finnish Permanent Stations**

Michael Grund & Joachim Ritter

KIT, Geophysical Institute, *michael.grund@kit.edu*

Within the ongoing ScanArray project (~150 temporary and permanent stations) we analyse the signatures of anisotropic structures across the different geological units of Scandinavia using core-refracted shear waves (SKS, SKKS, PKS) from teleseismic earthquakes. For this purpose we combine standard shear wave splitting (SWS) techniques with stacking procedures to improve the backazimuthal (BAZ) coverage.

Here we present new results of ~10 years of data, continuously recorded at several stations of the two Finnish permanent networks between 2005 and 2016. Some stations show strong variations in the determined SWS parameters with BAZ as well as discrepancies between SKS and SKKS measurements for the same event. This result indicates that the source of anisotropy is quite complex with possibly contributions from both, lithospheric and deeper mantle structures. Standard layered anisotropy models with one or two anisotropic layers are not able to explain all of our observed SWS parameters with high reliability which additionally points towards lateral variations.

## **Surface wave analysis of the structure of the oceanic lithospheric plates along the Gloria fault in the north-eastern Atlantic**

Vanessa Hiemer, University of Potsdam

Between 2011 and 2012 three arrays have been deployed in Portugal, on Madeira and at the ocean bottom slightly north of the Gloria fault, as part of the Deep Ocean Test Array (DOCTAR) project. The array seismometers have recorded seismological data which was used to investigate the structure of the oceanic lithospheric plates along the Gloria fault. In doing so, a surface wave analysis was performed using an array method.

The Gloria fault is a part of the Azores-Gibraltar Ridge and is located in the north-eastern Atlantic. It forms a transform fault with the Eurasian Plate moving east, and the African Plate moving relatively west. The structure of the lithospheric plates near the fault was investigated using a sliding-window frequency wavenumber ( $fk$ ) analysis by which the phase velocity dispersion curves of surface waves were determined. In doing so the phase velocities resulting from the Madeira and ocean bottom arrays were used to investigate the area of the Gloria fault with regard to its surface wave phase and S wave velocities. The dispersion curves of the Portugal array were used as a continental reference to evaluate the reliability of the results of the  $fk$  analysis. Primarily Rayleigh waves were considered. A comparison between Love and Rayleigh waves was only done for the dispersion curves resulting from the ocean bottom array and it revealed an expected higher phase velocity for Love waves than for Rayleigh waves. Furthermore, it was discovered that the Rayleigh wave phase velocities are higher in the north than in the south of the fault. This coincides with other studies that have investigated the entire Azores-Gibraltar Ridge. Regarding the steady parts of the dispersion curves for the period range from 10 to 50 s the phase velocity in the north is about 3.9 to 4.1 km/s whereas in the south it is 3.8 to 4.0 km/s. The Love wave phase velocity in the north is about 4.7 km/s for the period range between 15 and 30 s.

Subsequently an inversion using the method of least squares was performed to get a velocity depth profile. The results revealed a higher S wave velocity in the north of the fault than in the south affirming the conclusions of other studies. The maximum S wave velocity in the lithosphere was determined to be about 4.6 km/s in the north and approximately 4.55 km/s in the south.

# **Mycenaean Tiryns and the Earthquake Hypothesis: Summary of Results from the HERACLES Project**

Hinzen<sup>1</sup>, K.-G.; Damm-Meinhardt<sup>2</sup>, U.; Fleischer<sup>1</sup>, C.; Hinojosa-Prieto<sup>1</sup>, H.; Kalytta<sup>1</sup>, T.; Maran<sup>3</sup>, J.; Reamer<sup>1</sup>, S.K.; Schweppe<sup>1</sup>, G.; Tzilakis<sup>1</sup>, J.

<sup>1</sup>)Universität zu Köln; <sup>2</sup>)Bonn; <sup>3</sup>)Universität Heidelberg

In the 1980s several findings in the most recent archaeological excavations at Mycenaean Tiryns in the Argive Basin, Peloponnese, led the excavator to interpret undulating and inclined walls, fallen pottery, and human remains as signs of a devastating earthquake that destroyed the palatial buildings and other constructions within the Tiryns citadel. It was even speculated that this natural disaster dated to 1200 to 1190 BCE could have been a contributing cause for the decline of the Mycenaean civilization, and later by others that this event was part of a 50-years-lasting 'earthquake storm' in the Eastern Mediterranean.

In a comprehensive study we collected new geophysical data at the archaeological World Heritage site of Tiryns and its surroundings to study local earthquake site effects. We reviewed the archaeological evidence and excavation photos, used laser scans to further explore damage patterns in constructions including the massive Cyclopean fortification walls. P- and S-wave refraction tomography, HVSR single station measurements and noise recordings with 10-station arrays allowed to model the site effects and compare these with standard spectral ratios of onsite recorded local earthquakes. While the shallow double limestone knoll of Tiryns, which contained the Mycenaean palace and carries a massive Cyclopean fortification wall, shows only small site amplifications below a factor of 2 at frequencies between 2 and 10 Hz, the soft sediments in the surrounding area, where the peasant residences were located, show amplifications of 4 to 6. However, no earthquake damage in the Lower Town has been archaeologically documented so far. Synthetic site specific seismograms for earthquake scenarios including sources at the Hellenic subduction zone and the Patras-Corinth rifting zone do not support the earthquake hypothesis and a reactivation of local faults of the Argolis is doubtful.

Several aspects of the previously presented 'earthquake evidence' could be shown to be erroneous or not compatible with quantitative modeling, as in case of the fallen pottery and earthquake induced fatalities. Some of the described damage can be well explained with natural decay processes such as earth pressure and weathering by root pressure. It is clear that the site has been shaken by several earthquakes in its 3500 years of history; however, it is unlikely that a devastating earthquake destroyed the Mycenaean structures at Tiryns around 1200 BCE.

## Rectangular Blocks vs Polygonal Walls in Archaeoseismology

Hinzen, Klaus-G.<sup>1</sup>; Montabert, Arnaud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>)Universität zu Köln; <sup>2</sup>)Ecole Normal Supérieur, Paris

Cracked or toppled walls are often seen as a strong evidence for a seismogenic cause of damage in archaeoseismology and certain wall structures like those with polygonal-shaped blocks are regularly regarded as indicators of earthquake adapted building technique. The question arises what the difference in vulnerability is between e.g. Roman type walls of rectangular blocks, Inca type walls with irregular joint patterns, and Lycian or Roman walls with polygonal blocks. We used discrete element models of four differently structured walls of equal size to compare their dynamic behavior assuming simple gravity walls with perfect flat joints. A series of calculations with analytic signals resembling near fault ground motions shows a clear frequency and PGA dependence on the toppling behavior of all walls. In more than 10,000 tests we recorded the deformation or impact pattern of the walls and the distribution of the displacement of all blocks. The tests with controlled horizontal ground motions were supplemented by excitation of the models with a series of 24 selected measured strong ground motions with PGAs from 0.1 to 0.8 g, applied in all three components of lateral ground displacement.

Overall, the models composed of polygonal-shaped ashlar are dynamically more stable than the rectangular blocks without mortar or clamping. Effects known from archaeoseismic field studies like corner expulsion and block rotation were observed in all models. However, height to width ratio of the walls also has a significant influence on the stability and toppling behavior. Results of the calculations show, that in archaeoseismological field cases it cannot be expected to recover engineering seismological parameters, particularly the PGA. Internal deformation of models that did not collapse shows some correlation with the strength of the ground motions.

## Recent seismicity in the northern German gas fields - induced and tectonic?

Manfred Joswig<sup>1</sup>, Zaneta Heinrich<sup>1</sup>, Gregor Mokolke<sup>1</sup>, Uwe Niethammer<sup>1</sup> & Marco Walter<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

<sup>2</sup> Seismic Solutions, Tübingen

In the northern German gas fields, several  $M_L$  2 to  $M_L$  3 earthquakes per year happened during recent years. Seismicity is generally bound to some 4-5 km depth corresponding to the exploited gas reservoirs in the Rotliegend and Zechstein. Thus this seismicity is assumed to be probably related to the conventional gas extraction. For liability claims, the regional seismic monitoring has improved recently by several new stations operated for the Wirtschaftverband Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG) - an industry consortium of gas producers - and the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) - the German federal governmental agency for geosciences and resources.

In the context of the DGMK research project 761, Stuttgart university has installed an additional, small-scale seismic network that monitored the Rotenburg region for the last two years. The region was chosen on purpose since 2004, the  $M_L$  4.5 Rotenburg earthquake was the largest event ever recorded in the vicinity of conventional gas production. For our monitoring, we combined one 10-station array with two tri-partite small arrays and five 3C single stations. Our installation covers an area of 11,5 km by 16 km. Within this area we achieved a detection threshold of  $M_L$  0.5 as verified by 35 events in a distance range of up to 100 km. In spite of this sensitivity no small events were observed near Rotenburg as would have been expected from the past seismicity by the two major earthquakes Rotenburg 2004 ( $M_L$  4.5) and Visselhövede 2012 ( $M_L$  2.9).

Reprocessing WEG and BGR data from the past by cross correlating seismograms from those 35 recent events we found additional events also clustering at reservoir depth. Additionally we discovered four singular, deeper earthquakes at 25 km to 30 km depth which previously were overlooked in regional monitoring due to many noise bursts by military shooting. Possible source mechanisms for these deeper events will be discussed ranging from the existence of intraplate earthquakes to the stress release from postglacial isostatic relaxation.

## **6 May 1976 Friuli Earthquake – Re-evaluation of macroseismic data, a new map and comparison with old intensity estimates**

Ina Cević (1), Gottfried Grünthal (2), Diethelm Kaiser (3), Rita Meurers (4), Ivica Sović (5),  
Andrea Tertulliani (6)

(1) MOP-ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, Slovenia, (2) GFZ, Potsdam, Germany,  
(3) BGR, Hannover, Germany, (4) ZAMG, Vienna, Austria, (5) GZAM, Zagreb, Croatia,  
(6) INGV, Rome, Italy

Forty years after a devastating earthquake sequence, that has demanded almost 1000 lives and destroyed towns and villages in Friuli and adjacent regions, a thorough interstate macroseismic field does not exist. We have then decided to take another look at the macroseismic data using the EMS-98 scale. Although four decades are not, historically speaking, a long period, and the quantity of existing data can be measured in hundred of kilograms of paper (questionnaires, damage analysis, newspapers, studies etc.) it was disturbing to find out that many of the original data are already missing and are probably lost forever. Effort was put into finding additional and yet unknown primary data, e.g. photographic material of damaged localities and eyewitness' reports.

Aim of this work is to joint the different data sets from the European countries where the earthquake was felt. For some countries with IDPs with only low intensity values (Switzerland, Hungary, Czechia, Poland) it was decided that the data will be included into the joint dataset without the EMS re-evaluation. In the countries closer to the epicentral region (Austria, Croatia, Germany – ex West and East part separately, Slovenia) the re-evaluation was performed. A particular and more complicated case concerns Italian data: the two main current Italian catalogues record two different data sets, both in IDPs number and in intensity values. Due to the methodological differences in a number of cases the EMS intensities are different than the previous MSK or MCS ones.

The presentation will discuss the particular interesting cases of differences between old and new intensity estimates, as well as give detailed insight into the collected data.

# **Improving the basis for seismic hazard assessment in Germany by combining earthquake catalogues with paleoseismic and neotectonic evidence**

Diethelm Kaiser<sup>1</sup>, Thomas Spies<sup>1</sup>, Jörg Schlittenhardt<sup>1</sup>, Klaus Reicherter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

<sup>2</sup>Neotectonics and Natural Hazards Group, RWTH Aachen

The quality of seismic hazard assessment depends on the knowledge about the occurrence and causes of earthquakes. Several projects coordinated by BGR have the goal to improve the relevant databases in Germany.

The earthquake catalogues and bulletins with instrumentally and macroseismological derived parameters for earthquakes from the year 800 until today have been combined in one common database. The source parameters of most of the historical events have not been inferred from original sources like entries in chronicles and historical newspaper articles but from later compilations (secondary sources). A pilot study for 8 important earthquakes in Germany between 858 and 1871 showed that a re-evaluation is required and that investigations in archives are promising. We plan to intensify historical earthquake research starting with damaging earthquakes. In parallel we will build up an archive of macroseismic data points (MDP) and estimate homogeneous magnitude values ( $M_w$ ) for all earthquakes.

Although much paleoseismological work has been performed in the last decades, paleoseismic evidence is sparse in Central Europe, both in terms of temporal and spatial distribution. The paleoseismic data base "PalSeisDB" was established that documents the records of paleoseismic evidence (trenches, soft-sediment deformation, and mass movements). Regions, where paleoseismic data or historical and instrumental seismicity are missing, should not be taken as sign of absence of active tectonics, merely as sign of lack of field investigations. Especially the Lower and Upper Rhine Graben are areas of great interest. Findings of seismically induced soft-sediment deformation features in the North German Basin also indicate a potential. The Swabian and Franconian Alb including the Franconian Lineament, are characterised by moderate seismic activity in historical and instrumental catalogues but the expected paleoseismic evidence has not been documented there, so far.

A comprehensive compilation of active faults in Central Europe is still missing. Current neotectonic evidence will be compiled on the basis of geological, seismic, seismological, geomorphological and remote sensing studies to achieve such a data base. In regions of low and moderate seismicity usually it is not possible to attribute earthquake sources to fault structures. For seismic hazard assessment in these regions in Central Europe we will apply new approaches to develop seismotectonic zones as areas or volumes with spatially homogeneous seismicity taking into account all available neotectonic evidence. Studies to develop a data base of active faults and a model of seismotectonic zones are in the planning stage.

## **Die ErdbebenDatenbasis für Deutschlands der BGR, aktueller Stand und geplante Arbeiten**

Diethelm Kaiser, Gernot Hartmann, Uwe Stelling (BGR Hannover)

Der Erdbebenkatalog für Deutschland für den Zeitraum von 813 bis 2008 (LEYDECKER 2011) wurde mit allen Parametern seiner 12 667 seismischen Ereignisse in die ErdbebenDatenbank GERSEIS der BGR aufgenommen. Hierfür wurde die Datenbankstruktur von GERSEIS angepasst und erweitert. Dabei wurden unterschiedliche Nutzungen von GERSEIS durch die Umsetzung grundlegender Konzepte berücksichtigt, insbesondere: Änderungsnachverfolgung, Archiv irrtümlich erfasster Ereignisse, Literatur- und Quellenstammbäume, makroseismische Datenpunkte, Priorisierung von Epizentren, Magnituden und Intensitäten, Abgleich mit Katalogen anderer Institutionen. Von den 12 667 Ereignissen konnten 6 861 mit Ereignissen, die in GERSEIS bereits vorhanden waren, assoziiert werden. Bei der Aufnahme des Erdbebenkatalogs für Deutschland wurden die seismologischen Daten überprüft und für 68 Erdbeben korrigiert bzw. ergänzt.

GERSEIS enthält jetzt die Parameter von 38 650 instrumentell (ab Magnitude  $M_L = 2.0$ , seit 1998 auch  $M_L < 2.0$ ) oder makroseismisch ausgewerteten Erdbeben seit dem Jahr 813 bis heute. Insgesamt wurde für 33 425 Erdbeben eine Magnitude bestimmt. Für 6672 Erdbeben liegen makroseismische Daten vor. Seit 1980 haben mehr als 98% aller Erdbeben Magnitudenangaben.

Neben der ständigen Aktualisierung von GERSEIS stehen jetzt folgende Aufgaben an: Der Import von aktuellen Erdbebenkatalogen anderer Institutionen einschließlich der Zuordnung zu vorhandenen Ereignissen und der Priorisierung unterschiedlicher Lösungen, der Export aus GERSEIS und die Bereitstellung von Produkten für Beratung, Wissenschaft und Öffentlichkeit wie z.B. aktuelle Versionen des Erdbebenkatalogs für Deutschland, die Bestimmung von Momentmagnituden  $M_w$  für historische und instrumentelle Erdbeben, die Aufnahme von makroseismischen Daten und Herdflächenlösungen sowie die Neubewertung historischer Erdbeben.

## **Rayleigh wave ellipticity modeling and inversion for shallow sub-surface structure at the InSight landing site in Elysium Planitia, Mars**

*Brigitte Knapmeyer-Endrun (Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen),  
Matthew P. Golombek (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology,  
Pasadena), Matthias Ohrnberger (University Potsdam)*

The SEIS (Seismic Experiment for Interior Structure) experiment on NASA's InSight lander, scheduled to arrive on Mars in November 2018, will be the first seismometer directly deployed on the surface of this planet. As far as we know from orbital data, the InSight landing site in western Elysium Planitia is covered by 2.5-17 m of fine-grained, sandy regolith that grades into large blocky ejecta over strong basalts. From extensive terrestrial experience as well as the study of the Apollo lunar seismic data, it is well known that site amplification in low-velocity sediments on top of more competent rocks has a strong influence on seismic signals, but can also be used to constrain subsurface structure.

Based on orbital data, lab measurements and terrestrial analogues, we construct a plausible model of the shallow sub-surface at the landing site in western Elysium Planitia and simulate the ambient vibration wavefield for SEIS under these conditions. We show how Rayleigh wave ellipticity can be extracted from these data and inverted for shallow structure. We find that higher mode ellipticity information might be extracted from single-station data, significantly reducing uncertainties in the inversion. We use non-linear inversion with the Conditional Neighbourhood Algorithm, resulting in an ensemble of models that can explain the data, and model ranking based on Akaike's information criterion to select a preferred model parameterization in terms of both number of layers and velocity law in the upper-most layer. Though the data are most sensitive to properties of the upper-most layer and show a strong trade-off between layer depth and velocity, it is possible to estimate the velocity and thickness of the sub-regolith layer and distinguish between different models by using reasonable constraints on regolith properties. Model parameters are best constrained if either higher mode data can be used or additional constraints on regolith properties, e.g. from analysis of seismic recordings of the hammer strokes of InSight's HP<sup>3</sup> (Heat flow and Physical Properties Package) probe or orbital mapping of regolith thickness from the onset diameter of rocky ejecta craters, are available. In addition, Rayleigh wave ellipticity can differentiate between models with a constant regolith velocity and models with increasing velocity with depth, information which is difficult to obtain otherwise.

Taking into account reasonable variations in regolith properties, we do not expect any influence of site resonances on teleseismic quakes recorded by SEIS or on the continuous recordings transmitted at a low sampling rate of 2 Hz, but recordings of local events, and, depending on regolith thickness at the landing site, also regional events, will likely be affected.

## **Seismic Noise Evaluation and Micro-Earthquake Detection Threshold in the East Eifel Volcanic Field (DEEP-TEE Recording)**

Mohsen Koushesh and Joachim Ritter, KIT-GPI, mohsen.koushesh@kit.edu

The study of seismicity in the Eifel volcanic fields became more important since the occurrence of two events in an extraordinary depth of 40-43 km close to Ochtendung on 18th and 22nd of September 2013. Those events triggered scientific questions on the source and the mechanisms that cause seismic events in the upper mantle where the estimated temperature is close to 900-1000°C. Seismologically speaking, this temperature range should not allow the rocks to rupture and produce faults as it is common for other tectonic earthquakes.

During summer and autumn of 2014 KIT, GFZ and LGB-RLP deployed 13 recording stations including 3 broadband and 10 short-period seismometers above and around the hypocentres of the deep events (Deep Eifel Earthquake Project - Tiefe Eifel Erdbeben). In this way the geometrical spreading and attenuation for detecting local events was decreased. Location and angular arrangement of the deployed mobile stations was done to enhance the permanent network and according to previous tomography studies which demonstrated that there is a mantle plume with roughly 100 km diameter below the Eifel region.

The seismometers of the DEEP-TEE project (station names: DEP1-13) were deployed temporarily in places with the assumed lowest noise level as far as the accessibility of electric power and required infrastructure allowed. Hence noise and signal detectability have to be evaluated. This is done by comparing with the seven nearby permanent stations: ABH, AHRW, FACH, LAGB, OCHT, TNS and WLF. First, we study characteristics of each recording sites in the frequency domain relevant to the noise level of the area and compare it to the world-wide characteristics (Peterson models). Then we select four stations with the lowest noise level and evaluate their detection thresholds based on the simulation of amplitude spectra considering a range of hypocentral distances and variations in magnitude ML. Instruments were provided by GFZ (GIPP), KIT (KABBA) and LGB-RLP, additional waveforms were provided by Erdbebendienst Südwest and BGR.

Keywords: Noise, PSD, Eifel volcanic region, simulation.

## **Hochauflösende Relokalisierung Fluid-Injektion induzierter, seismischer Ereignisse am Geothermiestandort Insheim / Rheinland-Pfalz**

Ludger Küperkoch, BESTEC GmbH

Fast jedes „Deep-Heat-Mining“-Projekt zeigt induzierte Seismizität. Diese dient zum einen als Werkzeug für die Schaffung oder Vergrößerung der unterirdischen Wärmetauscherflächen, zum anderen als Werkzeug zum Nachweis für die Migration der Injektionsfluide und somit zur Abschätzung der Größe des Reservoirs. Dies ist fundamentaler Bestandteil der Reservoircharakterisierung sowohl während der Stimulations- als auch während der Produktionsphase. Somit sind hoch-akkurate Lokalisierungen von großer Bedeutung. Hochauflösende Lokalisierungen stellen insbesondere in Gebieten mit komplexen Untergrundstrukturen wie dem Oberrheintalgraben eine Herausforderung dar. Vielfach werden Kalibrationsschüsse benutzt, um Stationskorrekturen zu berechnen und so das 1D-Geschwindigkeitsmodell mit den 3D-Untergrundstrukturen zu kalibrieren. Dies setzt jedoch die Annahme voraus, dass die Seismizität im Bereich des Kalibrationsschusses auftritt (demnach meist im Bohrlochtiefsten), was jedoch, wenn überhaupt, nur zu Beginn einer ersten Stimulationsphase der Fall ist. Zur Lokalisierung der seismischen Ereignisse im Insheim-Reservoir wurde daher folgendes Prozedere angewendet: Basierend auf VSP-Messungen, 2D-Seismikdaten, Bohrlochstratigraphien und Mikrozonierungen wurden insgesamt 9 verschiedene Startmodelle für VELEST-Inversionsrechnungen benutzt, wobei zunächst nur zu einem P-Geschwindigkeitsmodell invertiert wurde. Das Modell, welches anschließend das kleinste RMS-Laufzeitresiduum aufwies, wurde dann für eine gemeinsame P-/S-Geschwindigkeitsmodellinversion benutzt. Dieses so ermittelte Minimum-1D-Geschwindigkeitsmodell stellt die bestmögliche Approximation eines 1D-Geschwindigkeitsmodells an die 3D-Untergrundstrukturen dar inklusive optimierter Stationskorrekturen. Anschließend wurde für eine probabilistische Erdbebenlokalisierung das Fortran-Programm NonLinLoc benutzt, wobei das ermittelte Minimum-1D-Modell inklusive Stationskorrekturen verwendet wurde. Da die Hypozentralabstände der seismischen Ereignisse klein sind verglichen zu den Station-Hypozentrum-Abständen, bot sich eine anschließende Relativlokalisierung mittels hypoDD an. So konnten eindeutig Clusterungen der Seismizität im Insheim-Reservoir beobachtet werden. Herdflächenlösungen, die mit HASH erstellt wurden, konnten mit einer Störungsfläche korreliert werden. Eine verbliebene, offene Frage ist die Herkunft und das Prinzip der Seismizität in einem Cluster, das direkt an der Produktionsbohrung verortet wurde.

## **After TRANSALP and before ALPARRAY: A receiver functions perspective of the subduction polarity in the Eastern Alps**

by J. Kummerow (Freie Universität Berlin)

### **Summary**

One of the aims of the European initiative ALPARRAY and the planned German densified network SWATH-D is to shed light on the debated Moho gap and subduction polarity reversal at the transition between Eastern and Southern Alps.

Here, I revisit in detail the P receiver functions along the TRANSALP profile at about  $12^\circ E$  longitude, which were recorded already more than a decade ago. The main objective of this presentation is to contribute to a critical and profound discussion on what we know and what we do not know about the deep structure of the Eastern Alps. This may help to fine-tune targets of related projects within the recently granted DFG priority program 4D-MB.

---

---

# Full waveform inversion for mechanized tunneling reconnaissance

Andre Lamert (1), Khayal Musayev (2), Lasse Lambrecht (1), Klaus Hackl (2) and Wolfgang Friederich (1)

(1) Institute for Geology, Mineralogy and Geophysics, Ruhr-University Bochum, Germany, (2) Institute of Mechanics of Materials, Ruhr-University Bochum, Bochum, Germany

---

In mechanized tunnel drilling processes, exploration of soil structure and properties ahead of the tunnel boring machine can greatly help to lower costs and improve safety conditions during drilling. We present numerical full waveform inversion approaches in time and frequency domain of synthetic acoustic data to detect different small scale structures representing potential obstacles in front of the tunnel boring machine. With the use of sensitivity kernels based on the adjoint wave field in time domain and in frequency domain it is possible to derive satisfactory models with a manageable amount of computational load. Convergence to a suitable model is assured by the use of iterative model improvements and gradually increasing frequencies.

Results of both approaches, in time and frequency domain, will be compared for different obstacles. They show that small and large scale objects can be clearly detected while the quality significantly increases with the use of transmitted waves. Transmission leads to clearly identified structure and position of the obstacles and yields satisfactory guesses for the wave speed. Setups using only reflected waves to detect small scale structures result in blurred images of the objects and ambiguity in the position of distant objects but allow to distinguish heterogeneities characterized by differing wave speeds.

**Poster:**

**Numerische Methode zur Bewertung der induzierte Seismizität bei der Fracking-Maßnahme unter der Berücksichtigung von Bruchmechanik**

Gang Li, Manfred Joswig

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

Zur Einschätzung der induzierten Seismizität bei hydraulischen Stimulationsmaßnahmen bei der Erdgasförderung werden Beobachtungen und numerische Modellierungen herangezogen. Hierzu wird eine hydraulische Stimulationsmaßnahme im Norddeutschen Becken modelliert. Ferner wird die mit einer solchen Maßnahme einhergehende seismische Aktivität numerisch untersucht.

Für die Simulationen wird dabei ein standortunabhängiges, synthetisches und repräsentatives geologisches Modell im Norddeutschen Becken zugrunde gelegt. Zur Bewertung der Moment-Magnitude von induzierten Seismizität wird die Bruchmechanik von Irwin berücksichtigt. Während der Simulation werden die Zeitpunkte, wann die Rissausbreitung beginnt und beendet, bzw. die Dauer des einzelnen Bruchprozesses bestimmt. Die maximale Moment-Magnitude liegt bei ca. 0,3. Um das seismische Risiko der Fracking-Maßnahme einzuschätzen wird der b-Wert der induzierten Seismizität bewertet. Erste Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass der b-Wert zwischen 2,4 und 2.7 liegt.

## Seismische Scherwellen-Laufzeittomographie in Skandinavien

Franz Lutz<sup>1</sup>, Michael Grund<sup>1</sup>, Joachim Ritter<sup>1</sup>, Christian Weidle<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Geophysikalisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie*

<sup>2</sup> *Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

Das internationale Forschungsprojekt ScanArray mit dem deutschen Beitrag LITHOS-CAPP betreibt zurzeit 98 Breitbandstationen in Norwegen, Schweden und Finnland. Zusätzlich zu den Stationen des ScanArray-Netzwerks werden Permanentstationen und Breitbandstationen von früheren Studien in verschiedenen Gebieten Fennoskandiaviens verwendet, um ein dreidimensionales absolutes Scherwellen-Geschwindigkeitsmodell für den Erdmantel in dieser Region zu erstellen. Insgesamt werden Laufzeiten von über 200 Stationen verwendet, welche innerhalb der vergangenen 20 Jahre in Skandinavien installiert waren und gleichmäßig im Untersuchungsgebiet verteilt sind. Durch die lange Beobachtungszeit wird eine sehr gute azimutale Überdeckung mit Erdbeben ( $M_w > 5.5$ ) in Entfernungen von  $20^\circ$ - $90^\circ$  ermöglicht.

Die Laufzeittomographie wird mit dem Inversionsprogramm von Weidle, Widiyantoro et al. (2005) berechnet. Es werden absolute Laufzeiten von Scherwellen, welche an unserem regionalen Netz registriert wurden, zusammen mit Laufzeiten aus dem globalen Datensatz des EHB-Katalogs gemeinsam invertiert, um ein 3D-Geschwindigkeitsmodell zu erhalten. Das Raytracing wird hierbei für den gesamten Erdmantel durchgeführt, wodurch ein absolutes Geschwindigkeitsmodell bestimmt werden kann und keine Näherung für ebene Wellen gemacht werden muss. Das Modell ist im oberen Erdmantel unter dem Untersuchungsgebiet kleinräumig parametrisiert, sodass sich zusammen mit der sehr dichten Strahlüberdeckung in diesem Gebiet eine hohe Auflösung, vor allem im tiefen oberen Erdmantel erreichen lässt.

Mit dem resultierenden Geschwindigkeitsmodell sollen Aussagen über mögliche aktive und vergangene Mantelprozesse getroffen werden, welche zur heutigen Topographie und tektonischen Gliederung Skandiaviens beitragen. Besonderes Augenmerk soll hierbei auf dem Gebiet des mittleren und nördlichen Skandiaviens liegen, da für diesen Bereich nur wenige Untersuchungen vorliegen.

## Simulation of Seismic Wave Propagation in Fractured Media

Thomas Möller<sup>1</sup>, Wolfgang Friederich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum

We present a numerical approach to simulation of seismic waves in fractured media that does not require direct modelling of the fracture itself, but uses the concept of linear slip interfaces developed by Schoenberg (1980). This condition states that at an interface between two imperfectly bonded elastic media, stress is continuous across the interface while displacement is discontinuous. It is assumed that the jump of displacement is proportional to stress which implies a jump in particle velocity at the interface. We use this condition as a boundary condition to the elastic wave equation and solve this equation in the framework of a Nodal Discontinuous Galerkin scheme using a velocity-stress formulation. We use meshes with triangular elements to discretise the medium. Each individual element face may be declared as a slip interface. Numerical fluxes have been derived by solving the 1D Riemann problem for slip interfaces with elastic rheology. These fluxes are not limited to 1D and can - with little modification - be used for simulations in higher dimensions as well. The Nodal Discontinuous Galerkin code "neXd" is used as a basis for the numerical implementation of this concept. We present examples of simulations that illustrate the influence of fractures on the seismic wavefield. The accuracy of the simulation is demonstrated through comparison to an analytical solution.

## Kurzperiodische Arraymessungen am BFO: Potential für in-situ Störungssystem-Kartierung und regionale seismische Überwachung

G. Mokolke, M. Joswig, Universität Stuttgart

Im April 2015 wurde von Seiten des Instituts für Geophysik Stuttgart in den Bergwerksstollen, in denen auch das BFO angesiedelt ist, ein Klein-Array mit vier Seismometern installiert. Das BFO befindet sich in/bei der „Grube Anton“, im Wittichener Granit im Heubachtal nördlich von Schiltach im Zentral-Schwarzwald. Die Forschungsziele des BFO sind im Bereich der langperiodischen Bewegungen des Erdkörpers verankert, während im Rahmen dieser Untersuchung der kurzperiodische Frequenz- und räumliche Nahbereich bis rund 100 km betrachtet wird.

Kennzeichnend für das BFO ist die geringe Beeinträchtigung durch anthropogene und natürliche seismische Bodenunruhe. Das Ausmaß dieser Bodenbewegungen im Tages- und Wochengang wird von uns genauer dargelegt. Aufgrund der für mitteleuropäische Verhältnisse optimalen Bodenunruhe-Werte ist es möglich, durch manuelle/visuelle Begutachtung der Wellenformdaten in Sonogrammen (noise-adaptierten Spektrogrammen) Kleinstbeben mit Magnituden von  $M_L = 0$  noch in einer Distanz von 100 km aufzufinden. Durch beam-forming ist es möglich, eine Quellregion anzugeben, ohne dass zwingend externe Stationen hinzugezogen werden müssen.

Die Schwerpunkte der Beobachtung und Auswertung liegen bei:

- a) Ermittlung von Bodenunruhwerten in einem aufgelassenen Bergwerk in einer Granitstruktur und Auffinden von aktiven Störungszonen im Zentralschwarzwald und in der unmittelbaren Umgebung des Grubengebäudes. Dies geschieht im Rahmen eines Projekts des Landesforschungszentrums Geothermie (LFZG) als Voruntersuchung und Grundlagenforschung für den Aufbau des GeoLaB im Schwarzwald.
- b) Testen der Möglichkeit, ein Array im BFO zur Voruntersuchung von Standorten tiefer Geothermie-Projekte im zentralen Bereich des Oberrheingrabens (ORG) zwischen Karlsruhe und Mulhouse zu verwenden. Unseren Ergebnissen zufolge ist durch die direkte Ankopplung an das Grundgebirge und trotz der distanzierten Lage zum ORG eine Arrayinstallationen im BFO gegenüber einer Installation auf/im Graben-Sediment vorteilhafter und der Observationsbereich ist vergrößert.
- c) Wir evaluieren das Potential, das eine Array-Installation unter den Bedingungen im BFO zur Untersuchung des Erdbebengebiets der westlichen Schwäbischen Alb bietet. Die Möglichkeiten der Überwachung der Westalb-Störungzone mit visuellen und korrelativen Methoden und des beam-formings werden von uns eingehender untersucht.

Abstract poster session (AG Seismologie 2016)

## **Influence of wind turbines on seismic noise of borehole stations at high frequencies**

Tobias Neuffer and Simon Kremers\*

*\*presenting author*

The seismic monitoring network in North Germany includes six borehole stations with sensor depths up to 200 m below ground surface. Wind turbines were established in the proximity to those stations with different radial distances. This study shows the influence of wind turbines on seismic noise level in a frequency range of 1 - 10 Hz at the monitoring sites with correlation to wind speed. Power spectral density (PSD) functions and I95 values of waveforms from a time period of three years were calculated as characterizations of noise level. It was found that with higher wind speeds and lower distance between station and wind turbines the noise level is increasing. Furthermore, it was presented that higher wind speeds enhance the PSDs at peak frequencies of about 1.7 Hz and between 1.0 and 5.0 Hz, respectively, depending on station sites, the number and types of wind turbines in the proximity to the monitoring stations. The increased noise level with higher wind speeds at monitoring sites deteriorates the station's recording quality that leads to a limitation of the functionality and task fulfilment of the seismic network.

## **Lunar Structure from Coda Wave Interferometry**

Ceri Nunn<sup>1</sup> and Heiner Igel<sup>1</sup>

As part of the Apollo lunar missions, four seismometers were deployed on the near-side of the Moon between 1969 and 1972, and operated continuously until 1977. There are many difficulties associated with determining lunar structure from these records. As a result, many properties of the moon, such as the thickness, density and porosity of the crust are poorly constrained. This hampers our ability to determine the structure, geochemical composition of the moon, its evolution, and ultimately the evolution of the solar system. We explore the use of coda wave interferometry to reconstruct the near surface structure within the strongly scattering lunar crust.

<sup>1</sup> Ludwig-Maximilians-Universität, Department für Geo-und Umweltwissenschaften, Geophysik, Universität München, Theresienstr. 41, 80333 München  
ceri.nunn@gmail.com

## **SplitRacer – eine grafische Oberfläche in MATLAB zur Analyse teleseismischen Scherwellen-Splittings**

Miriam Christina Reiss, Georg Rümpker

Goethe Universität Frankfurt

Die Scherwellen-Splittinganalyse ist eine etablierte Methode zur Bestimmung von seismischer Anisotropie, welche meist als LPO (lattice-preferred orientation) oder SPO (shape-preferred orientation) interpretiert wird und so eine direkte Verbindung zu den kinematischen Prozessen im Erdinnern herstellt. Die steigende Anzahl an permanenten und temporären Stationen lässt eine umfassende Analyse seismischer Anisotropie weltweit zu. Unser Verständnis des Erdinnern schreitet durch Vergleiche mit gleichzeitig steigender Anzahl an globalen Modellen der seismischen Anisotropie fort. Allerdings stellt sich bei stetig wachsenden Datensätzen unweigerlich die Frage, wie man diese am besten prozessiert. Etablierte Routinen liefern präzise Ergebnisse, jedoch sind diese meist langsam und unpraktisch und für die Anwendung auf umfangreiche Datensätze weniger geeignet. Zudem werden die Analyse und Ergebnisse des Scherwellen-Splittings selten mit wohl-definierten Kriterien beurteilt, so dass Vergleiche zwischen verschiedenen Studien zwar erfolgen aber nicht unbedingt eindeutig sind. Daher haben wir im Hinblick auf verschiedene Projekte mit großer Stationsanzahl, z.B. AlpArray, eine grafische Oberfläche in MATLAB für teleseismisches Scherwellen-Splitting entwickelt.

Das SplitRacer Programmpaket besteht aus verschiedenen Funktionen: i) der Option eines Datendownloads per FDSNWS, ii) direktes Einlesen von mseed-Dateien und grundlegender Qualitätskontrolle der XKS-Wellenformen anhand von einem eigens gesetzten SNR-Schwellenwert und Filter, iii) Sichtung der Kriterien-erfüllenden Wellenformen und Analyse der Partikelbewegung zur Bestimmung einer möglichen Missweisung des Sensors, iv) Einzelereignis-Analyse anhand der Energieminimierungsmethode nach Silver und Chan (1991) und Überprüfung einer möglichen azimuthalen Abhängigkeit anhand von theoretischen Modellen, sowie v) Multi-Event-Analyse für eine oder zwei anisotrope Schichten. Insgesamt ermöglicht das Programmpaket eine schnelle und objektive Analyse der vorliegenden Daten auf Grundlage der gesetzten Qualitätskriterien des Benutzers. Als Beispiel zeigen wir die Analyse von knapp 5 Jahren Daten des Swiss Permanent Digital Network SDSN und vergleichen unsere Resultate mit denen aus früheren Publikationen.

## Datenqualität der zum AlpArray Seismic Network gehörigen RUB Stationen

Martina Rische, Kasper Fischer, Wolfgang Friederich

Das AlpArray ist eine Europäische Initiative, die das Verständnis von Gebirgsbildung im Zusammenhang mit Manteldynamik, Plattenreorganisation, Oberflächenprozessen und seismischer Gefährdung im Alpenen Orogen vertiefen soll. Grundlegend für dieses Projekt ist ein dichtes seismisches Netzwerk, welches die gesamte alpine Region sowie das Alpenvorland abdeckt. Dieses Netzwerk besteht aus etwa 600 Breitbandstationen, aufgeteilt in 380 permanente nationale Stationen und 220 temporären Stationen, welche von verschiedenen Projektpartnern für eine Zeitspanne von mindestens 2 Jahren betrieben werden.

Deutsche Universitäten beteiligen sich mit zur Zeit 74 Stationen im UNIBRA (UNiversity BRoadband Array) am AlpArray. Die 10 temporären Stationen der RUB wurden im November 2015 im Südwesten Deutschlands aufgebaut. Hier soll ein kurzer Überblick über die Datenqualität dieser Stationen gegeben werden. Die Stationen sind mit STS-2 und Guralp CMG-ESP Seismometern, sowie EarthData Datenloggern ausgerüstet und größtenteils in Gebäuden der regionalen Wasserversorger untergebracht.

## **SHARD – a SeisComp3 module for Structural Health Monitoring**

Bernd Weber, Jan Becker, Enrico Ellguth, Ralph Henneberger, Stephan Herrnkind, Dirk Rößler

gempa GmbH, Potsdam, Germany

Monitoring building and structure response to strong earthquake ground shaking or human-induced vibrations in real-time forms the backbone of modern structural health monitoring (SHM). The continuous data transmission, processing and analysis reduces drastically the time decision makers need to plan for appropriate response to possible damages of high-priority buildings and structures. SHARD is a web browser based module using the SeisComp3 framework to monitor the structural health of buildings and other structures by calculating standard engineering seismology parameters and checking their exceedance in real-time. Thresholds can be defined, e.g. compliant with national building codes (IBC2000, DIN4149 or EC8), for PGA/PGV/PGD, response spectra and drift ratios. In case thresholds are exceeded automatic or operator driven reports are generated and send to the decision makers. SHARD also determines waveform quality in terms of data delay and variance to report sensor status. SHARD is the perfect tool for civil protection to monitor simultaneously multiple city-wide critical infrastructure as hospitals, schools, governmental buildings and structures as bridges, dams and power substations.

## **Cluster-search based monitoring of local earthquakes in SeisComP3**

Authors: Dirk Rößler\*, Jan Becker, Enrico Ellguth, Ralph Henneberger, Stephan Herrnkind, Bernd Weber

Affiliation: gempa GmbH

\* corresponding author: roessler@gempa.de

We present a new cluster-search based SeisComP3 module for locating local and regional earthquakes in real time .

Real-time earthquake monitoring systems such as SeisComP3 provide the backbones for earthquake early warning (EEW), tsunami early warning (TEW) and the rapid assessment of natural and induced seismicity. For any earthquake monitoring system fast and accurate event locations are fundamental determining the reliability and the impact of further analysis. SeisComP3 in the OpenSource version includes a two-stage detector for picking P waves and a phase associator for locating earthquakes based on P-wave detections. scanloc is a more advanced phase associator developed by gempa GmbH with seamless integration into SeisComP3. scanloc performs advanced cluster search to discriminate earthquakes occurring closely in space and time and makes additional use of S-wave detections. It has proven to provide fast and accurate earthquake locations at local and regional distances where it outperforms the basis SeisComP3 tools.

We demonstrate the performance of scanloc for monitoring induced seismicity as well as local and regional earthquakes in different tectonic regimes including subduction, spreading and intra-plate regions. In particular we present examples and catalogs from real-time monitoring of earthquake in Northern Chile based on data from the IPOC network by GFZ German Research Centre for Geosciences for the past recent years. Depending epicentral distance and data transmission, earthquake locations are available within a few seconds after origin time when using scanloc. The association of automatic S-wave detections helps to better constrain the focal depth.

## Saisonale Variationen der Meeres-Mikroseismizität im Ross-See

Mechita C. Schmidt-Aursch<sup>1</sup>, Won Sang Lee<sup>2</sup>, Jong Kuk Hong<sup>2</sup>, Wolfram H. Geissler<sup>1</sup>, Sukyoung Yun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

<sup>2</sup> Korea Polar Research Institute, Incheon, Korea

Seismisches Hintergrundrauschen ist seit der ersten Nutzung von Seismometern ein wichtiges Thema. Menschliche Aktivitäten, gestreute Erdbebenwellen sowie in Seen und Ozeanen erzeugte Wasserwellen tragen zu dem Hintergrundsignal bei. Dieses Rauschspektrum ist an Landstationen gut erforscht, aber insbesondere die Hauptquellen der Mikroseismizität liegen im Ozean. Die rasch steigende Verfügbarkeit und Nutzung von Ozeanboden-Seismometern (OBS) führte zu einem neuen Verständnis der Erzeugung und Ausbreitung der sogenannten primären und sekundären Meeres-Mikroseismizität. Offen ist bislang noch, wie sich die Bedeckung der polaren Ozeane mit Meereis auf die dortige Mikroseismizität auswirken.

Das Koreanische Polarforschungsinstitut (KOPRI) und das Alfred-Wegener-Institut (AWI) führten eine Pilotstudie nahe der koreanischen Jang-Bogo-Station in der Terra-Nova-Bucht durch, um die lokale Seismizität und das Hintergrundrauschen in dieser Region zu erforschen. Vier breitbandige OBS aus dem Deutschen Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS) wurden im Januar 2012 mit dem koreanischen Eisbrecher RV Araon ausgesetzt. Drei Geräte konnten nach 13 Monaten erfolgreich eingeholt werden, das vierte OBS war wegen der lokalen Eisbedeckung nicht zugänglich. Es wurde ein Jahr später im Januar 2014 geborgen. Alle Stationen zeichneten Daten von guter Qualität auf, eine Aufzeichnung endete bereits nach acht Monaten wegen einer Fehlfunktion des Datenloggers. Das 2014 eingeholte OBS zeichnete mehr als 17 Monate auf, bis die Batterien entladen waren.

In diesem Beitrag stellen wir erste Ergebnisse des OBS Einsatzes vor. Zur Analyse des seismischen Hintergrundrauschens wurden sogenannte „probabilistic power spectral densities“ (PPSDs) für die OBS und nahegelegene Landstationen berechnet. Die unmittelbare Nähe des Ross-Schelfeises und anderer Gletscher, sowie die Meereis-Bedeckung der Region beeinflussen das Rauschspektrum in einer einzigartigen Weise. Unterschiedliche eis-induzierte Signale erhöhen insbesondere bei kurzen Perioden ganzjährig das Hintergrundrauschen. Starke saisonale Variationen der Meeres-Mikroseismizität können hingegen mit der Meereisbedeckung korreliert werden.

# Seismische Resonanzen eines akustischen Hohlraums

Felix M. Schneider<sup>1</sup> Sofi Esterhazy<sup>1,2</sup>

Ilaria Perugia<sup>2</sup> Götz Bokelmann<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Institut für Meteorologie und Geophysik (IMGW), Universität Wien

<sup>2</sup> Fakultät für Mathematik, Universität Wien

felix.schneider@univie.ac.at

Für die Realisierung eines umfassenden globalen Kernwaffenteststoppvertrags ist es Aufgabe der in Wien ansässigen Comprehensive Nuclear-Test Ban Treaty Organization (CTBTO) zu gewährleisten, dass Vertragsverstöße geahndet werden können. Im Rahmen von On-Site-Inspections (OSI) werden hierfür im Falle der Detektion eines verdächtigen seismischen Signals durch das Internationale Monitoring System (IMS) am Ort der Lokalisierung Inspektoren eingesetzt um nach Spuren eines unterirdisch durchgeführten Atomwaffentests zu suchen. Der direkte Nachweis eines durch die Sprengung entstandenen unterirdischen Hohlraums im Rahmen einer seismischen Messung wäre wünschenswert. In unserem durch den Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF) finanzierten Projekt zur Wechselwirkung des seismischen Wellenfeldes mit Hohlräumen im Untergrund gehen wir der Frage nach, ob seismische Resonanzen genutzt werden können um entsprechende Hohlräume im Untergrund zu detektieren. Da die sogenannte "Resonance Seismometry" als mögliche Technik im bereits formulierten Kernwaffenteststoppvertrag vorgegeben wird, wäre ein solches Vorgehen im Einklang mit den Regularien. Den ersten Projektabschnitt haben wir der theoretischen Berechnung des Wellenfeldes gewidmet. Die Wechselwirkung eines seismischen Wellenfeldes mit einem unterirdischen Hohlraum haben wir durch das generische Modell einer gas- oder flüssigkeitsgefüllten Kugel umgeben von einem elastischen Medium modelliert. Für diese 3D-Konfiguration kann das seismische Wellenfeld analytisch berechnet werden. Spektren, die auf diese Weise für das elastische Medium ermittelt wurden, weisen resonante Spitzen auf. Die Breite der Spitzen skaliert mit der Dichte des akustischen Mediums. Für eine gasgefüllte Kavität mit geringer Dichte sind die Spitzen sehr schmal und schwer aufzulösen. Die Resonanzfrequenzen können jedoch durch die Berechnung der Eigenmoden berechnet und so vorhergesagt werden, sofern die Größe der Kavität bekannt ist. Ursache für die Anregung resonanter Moden sind interne Reverberationen von akustischen Wellen, die in das Medium einkoppeln und sich bei resonanter Anregung durch mehrfache Reflexionen aufschaukeln. Das so verstärkte Signal koppelt zurück in das elastische Medium und erzeugt eine Resonanzspitze im Spektrum. Im zweiten Teil unseres Projekts wird der Fokus auf der Untersuchung oder Erhebung geeigneter Daten liegen um festzustellen, ob sich die theoretisch modellierten Signale auch im Experiment auffinden lassen.

**The ruin of the Roman temple of Kedesh, Israel; example of a precariously balanced archaeological structure used as a seismoscope**

Gregor Schweppe, Klaus-G. Hinzen, Shmuel Marco, Sharon K. Reamer, Moshe Fischer

Schweppe, Gregor, Earthquakegeology and Archchaeoseismology Group, Institute of Geology and Mineralogy, Cologne University, gregor.schweppe@uni-koeln.de

Hinzen, Klaus-G., Earthquakegeology and Archchaeoseismology Group, Institute of Geology and Mineralogy, Cologne University

Marco, Shmuhel, School of Geosciences, Tel Aviv University

Reamer Sharon K., Earthquakegeology and Archchaeoseismology Group, Institute of Geology and Mineralogy, Cologne University

Fischer, Moshe, Department of Archaeology, Tel Aviv University

Keywords: Archaeoseismology, collapsed wall, back calculation of ground motion, precariously balanced archaeological structure

## **Abstract**

Under favorable geologic conditions in some regions precariously balanced rocks have formed, which have been used to estimate yield ground motions, which have not been reached or exceeded since they formed. Numerous ancient manmade structures are also delicate in terms of stability, particularly during earthquake ground motions. We suggest using such structures as a kind of seismoscope indicating whether certain ground motion levels at their site have been reached. We apply the concept of the study of precariously balanced rocks to the ruin of the Roman temple of Kedesh, located in close proximity to a branch of the Dead Sea Transform Fault. The delicate looking ruin was surveyed with a 3D laser scanner. Based on the point cloud from that survey a discrete element model of the remaining temple wall was built. To test the stability of the model we used 54 analytical ground motion signals with frequencies ranging from 0.3 to 2 Hz and PGAs between 1 and 9 m/s<sup>2</sup> and simulated and measured strong ground motions of eight earthquakes. Two earthquake scenarios reflect hypothetical local events, five are historical earthquakes of the region and a strong motion record of the 1999 Taiwan Chi Chi earthquake was used in addition. None of the simulated earthquakes (historical or assumed) did topple the ruin; only the strong motion record collapsed the structure. The simulations reveal a surprisingly high stability of the ruin of the Roman temple of Kedesh mainly due to the small height to width ratio of the remaining walls.

## **Bericht über das Seismologische Zentralobservatorium der BGR (SZO)**

**K. Stammer**, M. Dohmann, T. Grasse, M. Hanneken, E. Hinz, M. Hoffmann,  
E. Muhire, C. Müller, H. Schlote, U. Stelling, E. Wetzig

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Es wird ein Überblick über die Tätigkeiten am SZO der BGR gegeben. Der Bericht umfasst folgende Themen:

- Stand der Arbeiten zur GRSN Netzverdichtung
- Statistiken zu Daten und Stationen im Archiv
- AlpArray Daten im Archiv des SZO
- Entwicklungen am Datenzentrum

## **Neue Ergebnisse zu Windkraftsignalen in seismologischen Registrierungen**

K. Stammler,  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Die bereits im letzten Jahr vorgestellten Arbeiten zu den Beeinträchtigungen von Gräfenberg Array-Stationen (GRF) durch in der Nähe stehende Windkraftanlagen wurden weitergeführt. Es fanden eingehende Untersuchungen zu Veränderungen der Detektionsschwelle von Einzelstationen und des gesamten GRF-Arrays in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit statt. So ergibt sich bereits eine Verschlechterung der Detektionsschwelle für das Array von 0.1 Magnituden bei Windgeschwindigkeiten über 3,5 m/s (in 10 m Höhe) bezogen auf ein Referenzereignis (chin. Nuklearsprengung). Weiterhin wurden Veränderungen der Wellenformen untersucht sowie eine systematische Untersuchung der Windabhängigkeit der Unruhespektren für Stationen des GRSN durchgeführt. Zu GRF in der Stärke ähnliche Störeinflüsse durch Windkraftanlagen ergeben sich z.B. an der Station GOR1 in 300m Tiefe.

**Poster – Titel:**

**Comparison of the 2009 L'Aquila and 2016 Amatrice earthquake source mechanisms inferred from seismological waveform data and geodetic surface displacement data**

Authors:

Steinberg, Andreas (1); Sudhaus, Henriette (1); Heimann, Sebastian (2); Krüger, Frank (3);

1: University Kiel, Institute of Geosciences; 2: GFZ, German Research Center for Geosciences, Potsdam; 3: University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Sciences

Abstract:

Robust estimates of kinematic earthquake source parameters and knowledge about the estimation model uncertainties are essential for earthquake physics in general, and especially for reliable seismic hazard assessment and the investigation of large-scale and complex tectonics.

This study explores the sensitivity on earthquake source parameters estimated from far-field teleseismic data and near-field Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) data, which are inverted separately but in the same conceptual framework. The source model formulations are the commonly used seismic moment tensors and rectangular dislocation models, respectively. We consider correlated data errors and estimate in a Bayesian framework model parameter trade-offs and uncertainties of the earthquake sources in comparison. Special regard is given to exploring the data-dependent resolvability for geometrically-complex segmented faults by employing an informational criterion.

For doing this we study two earthquakes in central Italy: the April 06, 2009 L'Aquila earthquake (Mw 6.3), which lies about 45 km to the south-southeast of the recent August 24, 2016 (Mw 6.2) earthquake near the town of Amatrice.

The location of the 2016 Amatrice earthquake appears to be in a gap between the aftershock sequences of the 1997 Colfiorito (Mw 6.0) and 2009 earthquake sequence and it is therefore interesting to analyze the two earthquake source mechanisms in comparison to gain insights into the possible source mechanisms in the strongly seismogenic Apennine area.

The regionality and similarities of the two earthquakes ensure comparability for error sources like e.g. path effects. They both occurred as the result of normal faulting on (probably different) NW-SE oriented faults in the Central Apennines.

For the 2009 L'Aquila earthquake we processed ascending and descending InSAR data from the Envisat SAR satellite. They show a singular surface displacement peak of around 25 cm LOS displacement away from the satellite on a roughly 15 km long fault. The hanging-wall displacement lobe is asymmetric in both the ascending and descending interferograms, showing the greatest gradients on the NE area of the lobe.

For the 2016 Amatrice earthquake we processed and analyzed ascending and descending InSAR data from the Sentinel-1 A/B SAR satellites. They show gradients of line-of-sight (LOS) surface displacement of up to 23 cm away from the satellite, on a roughly 20 km long and slightly bend fault, which strikes roughly N-S between the towns of Norcia and Amatrice. The surface displacements show further a possible secondary displacement peak, which could point to a geometrical complexity of the rupture.

we explore the raised questions of source complexity by comparing the estimated earthquake source parameters and their uncertainties for both earthquakes from teleseismic and InSAR data source estimations. The 2009 L'Aquila earthquake we found to be a geometrically simple, single-segment rupture on the Paganica fault, while for the 2016 Amatrice earthquake, the complexity is to be determined and if it did rupture the nearby Mt. Gorzano fault.

## Improved geodetic earthquake source modelling through correction of ionospheric disturbances in L-band InSAR data

Henriette Sudhaus (CAU Kiel), Giorgio Gomba (DLR) and Michael Eineder (DLR)

The use of L-band (23 cm radar wavelength) InSAR data for observing the surface displacements caused by earthquakes can be very beneficial. The retrieved signal is generally more stable against temporal phase decorrelation with respect to the shorter-wavelengths C-band (5.6 cm radar wavelength) and X-band (3.2 cm radar wavelength) InSAR data, such that fault movements also in vegetated areas can be observed. Also, due to the longer wavelength, larger displacement gradients that occur close to the ruptures can be measured. A serious draw back of L-band InSAR data on the other hand is that it more strongly reacts to heterogeneities in the ionosphere. The spatial variability of the electron content causes spatially long wavelength trends in the interferometric phase, distorts the surface deformation signal and therefore impacts on the earthquake source analysis. A well-known example of the long-wavelength distortions are the ALOS-1 InSAR observations of the 2008 Wenchuan earthquake.

To mitigate the effect of ionospheric phase in the geodetic modelling of earthquake sources, a common procedure is to remove any obvious linear or quadratic trend in the surface displacement data that may have been caused by ionospheric phase delays. Additionally, remaining trends may be accounted for by including so-called ambiguity (or nuisance) parameters in the modelling. The introduced ionospheric distortion, however, is only approximated arbitrarily by such simple ramp functions with the true ionospheric phase screen unknown. As a consequence, either a remaining ionospheric signal may be mistaken for surface displacement or, the other way around, long-wavelength surface displacement may be attributed to ionospheric distortion and is removed. The bias introduced to the source modelling results by the assumption of linear or quadratic ionospheric effects is therefore unknown as well.

We present a more informed and physics-based correction of the surface displacement data in earthquake source modelling by using a split-spectrum method to estimate the ionospheric phase screen superimposed to the interferogram. This method is based on the dispersive nature of the ionosphere and separates the ionospheric component of the interferometric phase from the non-dispersive component related to topography, ground motion, and tropospheric path delay.

We study the ionospheric bias on the fault modelling results in a real-data case study of a non-complex earthquake rupture using the ionospheric phase screen estimations and the uninformed ramp removal in comparison. The test earthquake is the March 24 2011 Myanmar earthquake (Mw6.8), which is covered by ALOS-1. Here, the coseismic interferograms of both ascending and descending tracks show significant ionospheric distortions. We use the standard formulations of rectangular dislocations in an elastic half-space and run fully non-linear optimizations of the first-order fault parameters. We complement the optimization with a Bayesian model parameter uncertainties estimation to quantify the modelling bias in source model estimation with arbitrarily trend-corrected L-band displacement data compared to the correction based on the estimated ionospheric phase screen.

For this particular strike-slip earthquake we find that fault dip, fault slip and rake are affected by the above mentioned methods of mitigating ionospheric contributions. The spurious oblique strike-slip mechanism found in the seismological gCMT solution, previous InSAR studies and our result from standard ramp correction, becomes a pure vertical strike-slip rupture for the physically-informed ionospheric delay correction. With such improved static near-field observation of seismic ruptures we also contribute towards the combined use of geodetic and seismic data in earthquake source modelling. The research of H.S and G.G. was and is funded by the Earth System Dynamics HGF Alliance. The ALOS data for this study are kindly provided by JAXA through the RA4 program under the project ID 1349.

## Bridging geodesy and seismology - aims and first developments of the initiated geophysical DFG Emmy-Noether-Group project

Henriette Sudhaus (CAU Kiel), Sebastian Heimann (GFZ), Andreas Steinberg (CAU Kiel), Marius Isken (CAU Kiel)

Tectonic stresses in the upper crust are predominantly released by faulting, i.e. rock dislocation events of various sizes, slow and fast. To learn about the characteristics and the statistics of crustal faulting is important for our understanding of the dynamics of plate tectonics in general and for assessing earthquake hazards in particular. In geophysics we observe various effects of such fault slip, mostly the deformation of rocks, e.g. with geodetic data of surface displacements from InSAR and/or GNSS data, and the excitation of seismic waves measured with seismological instruments. The analysis of these data can constrain several characteristics of the faulting process. While often a joint data analysis is done, in general we still have different disciplinary modelling approaches in the geodetic and seismological communities, e.g. half-space medium models versus 1d-layered medium model or finite sources versus point-sources, respectively, such that data and corresponding methods can often be incorporated only in a sequential manner. As a consequence, we do not fully exploit the information content of the combined data and results of different analyses are often not easy to compare.

In 2016 we started with the DFG-funded Emmy-Noether-project “Bridging Geodesy and Seismology for improved and automated estimation of faulting events” hosted at CAU Kiel in cooperation with GFZ Potsdam. The overarching project aim is to improve the integration of geodetic data analyses and seismological data analyses of crustal earthquakes by harmonizing different model representations of fault slip and seismic source into a common analysis frame work. The vehicle is the open-source seismology toolbox “pyrocko” for which we are building new open-source community tools. Direct benefits are: (1) With the joint use of surface displacement data and seismic waveforms we can extend the number of non-linearly modelled source parameters towards finite earthquake sources. (2) Non-linear data and model error propagation towards more realistic model parameter uncertainties is eased. (3) Combined near-field and far-data help to resolve rupture complexities. (4) Complete and consistent imaging of slow aseismic and fast seismic faulting processes becomes possible. We want to report on these foremost aims of the project and show first results.

## POSTER

Investigation of natural CO<sub>2</sub> conducting channels within the NW Bohemia/Vogtland region (Czech Republic) using Matched Field Processing and wave field modeling

Josefine Umlauf<sup>1</sup>, Hortencia Flores Estrella<sup>1</sup>, Michael Korn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leipzig University, Institute of Geophysics and Geology, Talstraße 35, 04103 Leipzig, Germany

The Cheb Basin (NW Bohemia/Vogtland region, CZ) is an intracontinental and geodynamically active area which is characterized by different natural phenomena, as fluid-triggered earthquake swarms, mineral springs and an enhanced heat flow within the lithospheric mantle. It is assumed that subsurface feeding channels exist, that conduct mantle-originating fluids as well as CO<sub>2</sub>. In course of a PIER-ICDP project we aim to detect these feeding channels, to image their structure and depth range, as well as to monitor their activity.

At the Earth's surface, the fluid exhalations become visible and appear as mofettes: little sinks characterized by degassing of highly concentrated CO<sub>2</sub>. In order to locate fluid channels, we selected two key sites within the Cheb Basin with strong mofette activity: The Hartoušov Mofette Field (meadow) and the Soos National Natural Reserve (wetland). Within multiple campaigns, we measured ambient seismic noise on both fields. We used small-scale arrays with ~1 ha extent of 30 randomly distributed stations consisting of vertical geophones (4.5 Hz) and Reftek Texan recorders. The data was processed using the noise source localization method *Matched Field Processing (MFP)* considering the fluid flow as seismic noise source. The 3D *MFP* output shows locations of high fluid flow activity within the instrumental array configuration, images channel structures down to 20 m depth and allows a monitoring of the fluid flow activity.

Furthermore, we modeled the noise wave field for flowing fluids and collapsing gas bubbles using synthetic explosion sources and lowpass-filtered white noise (0 – 20 Hz) within a homogeneous halfspace. We want to receive knowledge about the dominant type of waves produced by the fluid flow and to investigate the influence of the configuration of the array on the *MFP* localization. We used the finite difference software *FD3D* and *MFP* for the inversion.

# Induzierte Seismizität an den Geothermiekraftwerken Insheim und Landau

Margarete Vasterling<sup>1</sup>; Andrea Brüstle<sup>2</sup>; Ulrich Wegler<sup>1,3</sup>; Thomas Plenefisch<sup>1</sup>; Bernd Schmidt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

<sup>2</sup> Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz

<sup>3</sup> jetzt: Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Im Rahmen des MAGS2-Projekts wird die im MAGS-Projekt begonnene seismologische Datenerfassung in der Region der beiden Geothermiekraftwerke Landau und Insheim im mittleren Oberrheingraben fortgeführt. Hierfür betreibt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein lokales seismisches Netzwerk aus 14 Oberflächen-Stationen. Auf Grund des schlechten Signal-zu-Rausch-Verhältnisses durch die starke Besiedlung und die unverfestigte Sedimentauflage im Bereich der Grabenstruktur wird das Netzwerk durch 4 Bohrloch-Stationen in Tiefen von etwa 100 m - 300 m ergänzt. Diese werden vom Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz (LER), z.T. in Kooperation mit industriellen Partnern, betrieben.

Die Ereignisse werden mit Hilfe des im MAGS-Projekt entwickelten Kreuzkorrelations-Detektors (SeisComP3-Plugin) in Echtzeit detektiert und einem der Reservoirs oder einem der benachbarten Steinbrüche zugeordnet. Auf Grund der geringen Netzwerkausdehnung von max. 20 km wird anstelle der Lokalmagnitude eine Relativmagnitude aus dem Amplitudenverhältnis der beobachteten zu den größeren Ereignissen mit bekannter Lokalmagnitude bestimmt. Anschließend erfolgt zeitnah eine manuelle Auswertung und Lokalisierung mittels SeisComP3 und NonLinLoc unter Verwendung von lokalen Geschwindigkeitsmodellen. Für das jeweilige 1D-Geschwindigkeitsmodell wurden mit Hilfe von VELEST Stationskorrekturen bestimmt, um Laufzeitabweichungen auf Grund der tektonischen Situation des Landauer Schollenfeldes zu berücksichtigen. Seit dem Beginn des MAGS2-Projekts im Oktober 2013 wurden rund 670 Ereignisse automatisch detektiert und ausgewertet, die als geothermisch induzierte Erdbeben klassifiziert wurden. Für die Seismizität im Bereich Insheim wird eine Magnitudenvollständigkeit von -0.1 erreicht. Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der Seismizität, so zeigt sich für das Reservoir in Insheim, dass insbesondere nach Stillstandszeiten des Kraftwerks (z.B. Wartungsarbeiten) mehr Ereignisse auftreten als im normalen Betrieb. Das Kraftwerk Landau ist seit März 2014 auf Grund einer Leckage außer Betrieb. Trotzdem werden weiterhin vereinzelte induzierte Beben registriert. Die ausgewerteten induzierten Erdbeben wurden im Bereich des kristallinen Grundgebirges lokalisiert und lassen sich eindeutig einem der beiden Reservoirs zuordnen, da deren seismischen Wolken deutlich voneinander getrennt sind. Für Ereignisse mit  $M_L > 1$  wurden Herdflächenlösungen bestimmt. Der Einfluss des Geschwindigkeitsmodells ist vergleichsweise gering, wie die Bestimmung von Herdmechanismen mit verschiedenen Geschwindigkeitsmodellen zeigt. Um die Bedeutung der Lokalisierungsunsicherheit für die Herdflächenlösungen zu untersuchen, wurden diese für die manuelle Lokalisierung bestimmt und mit der Lokalisierungsungenauigkeit variiert. Da diese für die betrachteten Beben sehr klein ist, zeigt sie keinen großen Einfluss auf die Herdflächenlösungen.

## **Entwicklung und Betrieb eines Mikrobarometerarrays am BFO zur Verbesserung der Luftdruckkorrektur lang-periodischer Seismometer- und Strainmeterdaten**

Rudolf Widmer-Schnidrig<sup>(1)</sup>, Karl-Heinz Jäckel<sup>(2)</sup> und Udo Klein<sup>(3)</sup>

(1) BFO, Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Wolfach

(2) GFZ, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Potsdam

(3) Hard- und Softwareentwicklung Dr. Udo Klein

Bei Seismometern, Neigungsmessern und Strainmetern besteht die dominante Rauschquelle im Periodenband 200s - 3600s aus Luftdruckschwankungen in der lokalen Atmosphäre. Dieser Befund gilt insbesondere auch für die gut von direkten atmosphärischen Einflüssen abgeschirmten Sensoren im Untertageobservatorium BFO. Bisherige Arbeiten am BFO zur Entwicklung einer Luftdruckkorrektur basierten ausschließlich auf der Messung des Luftdrucks mit nur einem einzigen Barometer. Trotzdem gelang vor allem für die Vertikalkomponente und den Flächenstrain die Entwicklung einer effizienten Korrekturmethode. Die Versuche einer Luftdruckkorrektur für horizontale Akzelerometer (Seismometer und Neigungsmesser) und den Scherstrain litten jedoch unter der Unkenntnis der räumlichen Druckverteilung und insbesondere des horizontalen Luftdruckgradienten. Dieser soll nun mit dem Mikrobarometerarray erfasst werden.

Als Sensoren werden MEMS basierte Mikrobarometer BMP280 von Bosch eingesetzt, die auch in den neuesten smart phones zum Einsatz kommen. In Kombination mit DCF77 basierter, absoluter Zeitgebung und der Speicherung auf 2GB microSD Karten haben wir autark registrierende, batteriebetriebene Barometer entwickelt.

Aktuell besteht das Array aus 12 Elementen und besitzt eine Apertur von 3 km. Die Barometer werden vorgestellt und erste Datenbeispiele gezeigt.

## **Seismic structure of the lithosphere beneath NW Namibia: Impact of the Tristan da Cunha mantle plume**

Xiaohui Yuan<sup>1</sup>, Benjamin Heit<sup>1</sup>, Shantanu Pandey<sup>2</sup>, Sascha Brune<sup>1</sup>, Bernhard Steinberger<sup>1</sup>, Wolfram H. Geissler<sup>2</sup>, Wilfried Jokat<sup>2</sup>, Michael Weber<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

<sup>2</sup> Alfred Wegener Institute, Helmholtzzentrum für Polar und Meeresforschung, 27568 Bremerhaven

Northwestern Namibia at the landfall of the Walvis Ridge was affected by the Tristan da Cunha mantle plume during continental rupture between Africa and South America. We use data from an amphibian passive-source seismological network to investigate the mantle plume-lithosphere interaction. An overthickened crust with high  $V_p/V_s$  ratio was observed at the landfall of the Walvis Ridge, implying magmatic underplating. Receiver functions also reveal an interface with negative velocity contrast in the mantle at an average depth of 80 km that we interpret as the relics of the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB). This interface is shallower than one would expect from other geophysical and geothermal data for the present-day LAB in this area and might therefore indicate the depth of thermal erosion of the lithosphere. The mantle transition zone discontinuities at 410 and 660 km are clearly observed by P wave receiver functions. In much of the study area the P-to-S converted phases of both discontinuities arrive 1.5 s earlier than in the plume-unaffected continental interior further east. The early arrival of the two discontinuity phases with constant separation would suggest a high velocity in the upper mantle or a thick lithosphere beneath the study area, which may imply that the lithosphere has regained a large thickness during the last 132 Myr. However, the present-day LAB is weak or poorly visible in the receiver functions with converted waves, which might indicate a gradual impedance contrast. Surface wave tomography reveals a thick lithosphere with a thickness of more than 175 km over a large area extending farther south of the Congo craton. Thermal cooling of continental lithosphere can not produce the amount of lithospheric thickness required here. Hence depleted material in the remnant mantle lithosphere is likely the primary cause for the high velocities required in the area where the plume played a key role in the development of the Parana-Etendeka basalts.

## Zusammenfassung

# STRATEGy

## Seismic neTwoRk/Array in norThwEstern arGentina

Martin Zeckra, Universität Potsdam

In der Folge eines Erdbebens (Mw 5.8, 17. Oktober 2015) im Nordwesten Argentiniens installierten wir ein kleinräumiges Netzwerk aus 13 seismischen Stationen um das vermutete Epizentrum und beachtenswerte tektono-geologische Strukturen. Das Erdbeben ereignete sich im Vorlandbereich der Anden in etwa 17 Kilometern Tiefe. Diese Region ist durch eine komplexe geologische Entwicklung gekennzeichnet, wodurch invertierte Störungen und rezente Kompressionsstrukturen zu einer Heraushebung des Grundgebirges führen. Diese Gebirgszüge sind wiederum durch mächtige Sedimentbecken voneinander getrennt, welche ebenfalls von Störungen durchzogen sind. So ist das Epizentrum in Mitten des 4 Kilometern tiefen Metán-Beckens lokalisiert worden, dessen tektonisches Störungssystem bereits durch seismische Profile interpretiert wurden. In dieser Studie soll die Seismizität der Region und die Nachbebensequenz des Erdbebens vom 17. Oktober 2015 genauer untersucht werden. Diese Ergebnisse sollen ein besseres Verständnis des aktiven Vorlandbereiches der Anden und der vordersten Bruchfront ermöglichen. Neben der Modellierung des Geschwindigkeitsmodells des Beckens können die Daten aus dem Netzwerk auch Einblicke in die Subduktion der Nazca-Platte hervorbringen.

In diesem Beitrag soll das installierte Netzwerk und das Erdbeben in der Provinz Salta vorgestellt werden. Außerdem werden die ersten Daten und vorläufige Ergebnisse des Netzwerks präsentiert.

## **Vibrationen von Windenergieanlagen und deren Einfluss auf seismische Stationen – Beispiel Umgebung von Landau (Deutschland)**

Toni Zieger<sup>1</sup> & Joachim R.R. Ritter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut, [toni.zieger@kit.edu](mailto:toni.zieger@kit.edu)

Seit der deutschen Energiewende im Jahr 2011 steigt die Zahl neuer Windenergieanlagen (WEA) in Deutschland stark an. Das Hauptziel des Projektes TremAc ist es, deren Einfluss auf Gebäude und Menschen mit einer interdisziplinären Studie zu untersuchen. Dabei sollen vor allem die Bauweise der Anlagen sowie verschiedene Untergrundeigenschaften in die Analysen mit einfließen. Ebenso soll untersucht werden, in wie weit es zu einem Einfluss von Windturbinen auf sensitive Messeinstrumente, wie etwa seismische Stationen, kommen kann. Hier herrscht ein großer Handlungsbedarf, da es vermehrt zu Konflikten zwischen den unterschiedlichen Betreibern aufgrund der bevorzugten ähnlichen Standortbeschaffenheit kommt.

In diesem Vortrag werden wir Ergebnisse zum Einfluss eines Windparks in der Nähe von Landau (Deutschland) auf ein bereits existierendes seismisches Netzwerk zeigen. Die Stationen sind in verschiedenen Lokationen bis zu einer Distanz von 6 km um den Windpark verteilt und es können kontinuierliche Daten in einem Zeitraum von mehreren Jahren für die Analyse verwendet werden. Wir können deutliche windabhängige Effekte in einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 7 Hz detektieren, die vermutlich mit Windenergieanlagen in Verbindung gebracht werden können.

Die Ergebnisse werden als gemittelte stündliche Rauschspektren für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten dargestellt. Der Hauptfokus des Vortrags wird hierbei auf Analysen von Bohrlochstationen in verschiedenen Tiefen gesetzt, um den Effekt der Tiefeneindringung von emittierten Wellen der Anlagen zu untersuchen. Hierbei zeigen sich klare Unterschiede der windabhängigen Amplituden der Rauschspektren bezüglich der Tiefe. Desweiteren wird diskutiert, in wie weit die Emissionen das Rauschniveau und die Detektierfähigkeit von seismischen Stationen beeinflussen und welche Maßnahmen nötig sind, um die hohen Anforderungen an ein seismisches Netzwerk weiterhin zu erfüllen.

Die seismischen Daten wurden vom “Erdbebendienst Südwest” sowie von der „Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)“ zur Verfügung gestellt. Die meteorologischen Daten wurden vom “Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT” zur Verfügung gestellt. TremAc wird durch die Bundesrepublik Deutschland gefördert. Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.